



РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ  
(РОСПАТЕНТ)

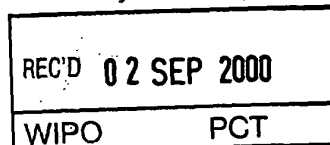


**ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

рег. No 20/12-572

"14" августа 2000 г.

**СПРАВКА**



Федеральный институт промышленной собственности Российского агентства по патентам и товарным знакам настоящим удостоверяет, что приложенные материалы являются точным воспроизведением первоначального описания, формулы и чертежей (если имеются) заявки на выдачу патента на изобретение № 2000107026, поданной в марте месяце 23 дня 2000 года (23.03.2000).

RU<sup>00</sup>/00209

4

**Название изобретения**

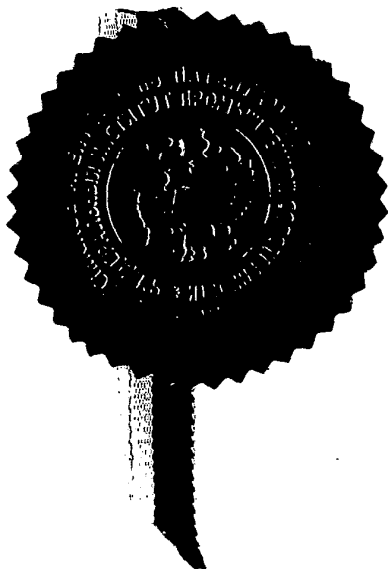
Вискерный микрозонд для емкостных измерений и способ его изготовления

**Заявитель**

Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственное предприятие Кристаллы и Технологии"

**Действительный автор(ы)**

ГИВАРГИЗОВ Евгений Инвиевич  
ГИВАРГИЗОВ Михаил Евгеньевич



Уполномоченный заверить копию  
заявки на изобретение

Г.Ф.Востриков  
Заведующий отделом

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

✓ 1

2000107026



# ВИСКЕРНЫЙ МИКРОЗОНД ДЛЯ ЕМКОСТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

*Е.И.Гиваргизов и М.Е.Гиваргизов*

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Настоящее изобретение относится к материаловедению, в особенности электронному, в частности к микроэлектронике, к прецизионному инструментарию для научных и производственно-технологических исследований, к диагностике электрических материалов и приборов, и состоит в конструировании и создании острийных зондов для обнаружения и измерения электрических сил, возникающих при взаимодействии твердых тел с размерами и на расстояниях, приближающихся к атомным.

## ПРЕДШЕСТВУЮЩИЙ УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Известны способы измерения электрических свойств и сил посредством зондовых приборов таких как сканирующий емкостной микроскоп [1].

Важнейшим компонентом такого прибора, определяющим его разрешающую способность и чувствительность, является микрозонд, обладающий электрической емкостью. Обычно, микрозонд представляет собой проводящее острие с полусферической вершиной, которое сканирует вдоль исследуемой поверхности полупроводника, в контакте с нею или вблизи от неё (обычно полупроводник покрыт изолирующим окислом) [2]. Измеряется возникающая при этом электрическая емкость, зависящая от содержания и размещения примеси в полупроводнике. Таким образом получают информацию о профиле легирования полупроводника.

Очевидно при этом, что емкость зависит также от формы острия, в частности, от его радиуса закругления. Эти радиусы могут меняться от острия к острию. Кроме того, они могут меняться в процессе измерения по мере затупления микрозонда от контакта с твердой поверхностью.

Предлагаемый в настоящем изобретении микрозонд лишен этих недостатков.

## СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Предлагается микрозонд для емкостных измерений, содержащий электропроводящее острие с диэлектрическим покрытием, которое образовано кремнием, изготовленным из нитевидного кристалла, выращенного на кремниевом кантилевере кристаллографической ориентации (111). Острие имеет ступенчатую форму с нижней

частью (основанием) большего диаметра и верхней частью меньшего диаметра, коаксиальной и эпитаксиальной по отношению к нижней части. Верхняя часть острия имеет торец (плоскую вершину), перпендикулярный оси острия, причем торец покрыт пленкой диэлектрика. В верхней части острия имеется полупроводниковый p-n переход, параллельный торцу, на расстоянии от торца, не превышающем диаметра острия.

Диаметр нижней части острия составляет от 5 до 10 микрометров и превосходит диаметр его верхней части не менее чем на порядок величины. Верхняя часть острия имеет цилиндрическую, призматическую, или коническую форму диаметром менее 100 нанометров и высотой менее 2 микрометров.

В качестве диэлектрика используют двуокись кремния  $\text{SiO}_2$ , пятиокись тантала  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , двуокись титана  $\text{TiO}_2$ , титанат стронция  $\text{SrTiO}_3$ , или титанат бария  $\text{BaTiO}_3$ .

#### КРАТКИЙ ПЕРЕЧЕНЬ ФИГУР

Фиг. 1. Предшествующий уровень техники; (а) из работы [3]: схема микрозонда и схема измерения. 1 – микрозонд; 2 – изолятор (окисел); 3 – примесь; (б) из работы [4]: схема микрозонда и схема измерения. 1 – микрозонд; 2 – окисел.

Фиг. 2. Нитевидный кристалл кремния, выращенный на кремниевом кантилере и служащий затем основой для создания острейного микрозонда. Стрелкой показана глобула на вершине нитевидного кристалла, состоящая из смеси кристаллитов кремния и золота.

Фиг. 3. Система кремниевых острий с плоскими вершинами, приготовленных из нитевидных кристаллов.

Фиг. 4. Кремниевое острие, служащее основой для емкостного микрозонда: 1 – нижняя часть (основание) острия; 2 – верхняя часть острия; 3 – p-n переход в микрозонде.

Фиг. 5. Кремниевое острие, покрытое диэлектриком

### ЛУЧШИЙ ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

На Фиг. 1 изображен острый микрозонд и схема измерений. Чувствительность измерений зависит в конечном счете от электрической емкости, существующей между микрозондом и образцом.

В существующих методах зондовых измерений эта емкость определяется в основном диэлектрическими свойствами окисного покрытия исследуемого образца. Это покрытие (обычно двуокись кремния) имеет значение диэлектрической постоянной около 5.

В настоящем изобретении предлагается существенно увеличить емкость путем покрытия микрозонда диэлектрическим материалом, обладающим значительно более высоким значением диэлектрической постоянной. Например, покрывать микрозонд тонким слоем пятиокси тантала  $Ta_2O_5$  (диэлектрическая постоянная этого материала 25 единиц), двуокси титана  $TiO_2$  (100 единиц), титаната стронция  $SrTiO_3$  (250 единиц), или титаната бария  $BaTiO_3$  (1500 единиц).

Кроме того, конструкция предлагаемого микрозонда позволяет существенно увеличить эту емкость и её воспроизводимость от зонда к зонду благодаря плоской форме его торца (см. Фиг. 2). Такая конструкция микрозонда обеспечивается способом его изготовления. В основу способа изготовления положено выращивание из газовой фазы по механизму пар-жидкость-кристалл

#### *Пример 1.*

На кремниевый кантилевер ориентации (111) наносят частицу золота диаметром 5 мкм, толщиной 0,3 мкм, и помещают его в кварцевый реактор, через который пропускают поток очищенного водорода. Кантилевер нагревают до температуры 900-950°C, после чего к водороду добавляют пары четыреххлористого кремния до концентрации 2-3 ат %. В результате процесса выращивания за 5-10 мин на участке кантилевера, покрытого частицей золота, образуется нитевидный кристалл кремния (кристаллический столбик). На его вершине остается закристаллизовавшаяся «глобула» (полусфера), образованная смесью кристаллитов кремния и золота (Фиг. 2).

С помощью жидких растворителей указанных элементов «глобула» может быть удалена, в результате чего образуется кремниевое острие с плоской вершиной. На Фиг. 3

показана система кремниевых острий с плоскими вершинами, полученных из системы выращенных нитевидных кристаллов.

Если в процессе выращивания нитевидных кристаллов целенаправленно изменять условия кристаллизации, например температуру процесса, концентрацию четыреххлористого кремния в паро-газовой смеси, то возможно придавать острию специальную форму, например, создавать острие ступенчатой формы с нижней частью (основанием) большего диаметра, обеспечивающей микрозонду механическую стабильность (виброустойчивость), и верхней частью меньшего диаметра, обеспечивающей высокую разрешающую способность.

### *Пример 2.*

На первой стадии выращивания нитевидного кристалла кремния процесс проводят при температуре  $1000^{\circ}\text{C}$  и концентрации четыреххлористого кремния в водороде 2 молярных %. Длительность первой стадии 10 минут. Затем снижают температуру кристаллизации на  $100^{\circ}\text{C}$  и увеличивают концентрацию четыреххлористого кремния до 4 молярных %. Эту стадию проводят в течение 1 минуты.

В выращенном острие может быть создан полупроводниковый p-n переход. Для этого проводят легирование растущего кристалла добавлением парообразной примеси в газовую фазу.

### *Пример 3.*

Проводят выращивание нитевидного кристалла на кантилевере с p-типом полупроводниковой проводимости, причем обеспечивают рост нитевидного кристалла p-типа проводимости. На второй стадии выращивания, когда создают верхнюю (суженную) часть острия, до завершения стадии в газовую смесь начинают добавлять пары треххлористого фосфора в концентрации 0,01 относительно концентрации четыреххлористого кремния и через 30 секунд прекращают процесс выращивания нитевидного кристалла.

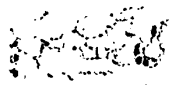
Действиями химических растворителей удаляют глобулу с вершины нитевидного кристалла.

Схема одиночного острия с p-n переходом, приготовленного по описанной процедуре, показано на Фиг. 4.

На торец приготовленного таким образом острия наносят диэлектрик.

***Пример 4.***

На торец напыляют в вакууме пленку титана толщиной 100 нанометров. Пленку наносят отвесно, вдоль оси острия так, что она осаждается только или преимущественно на торце. Затем обработкой при повышенной температуре в окислительной среде эту пленку превращают в диэлектрический материал (диоксид титана), Фиг. 5.



## ЛИТЕРАТУРА

1. R.Subrahmanyam, Methods for the measurement of two-dimensional doping profiles, J. Vac. Sci. Technol., **B10**, 358-368 (1992).
2. J.J.Kopanski, J.F.Marchiando, and J.R.Lowney, Scanning capacitance microscopy measurement and modeling: Progress towards dopant profiling of silicon, **B14**, 242-247 (1996).
3. D.W.Abraham, C.Williams, J.Slinkman, and H.K.Wickramasinghe, Lateral dopant profiling in semiconductors by force microscopy using capacitive detection, J.Vac.Sci.Technol., **B9**, 703-706 (1991).
4. Y. Huang, C.C.Williams, and M.A.Wendman, Quantitative two-dimensional dopant profiles by cross-sectional scanning capacitance microscopy, J. Vac. Sci. Technol., **A14**, 1168-1171 (1996).

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Микрозонд для емкостных измерений, содержащий электропроводящее острие с диэлектрическим покрытием, отличающийся тем, что острие образовано кремнием, изготовлено из нитевидного кристалла, выращенного на кремниевом кантилере кристаллографической ориентации (111), имеет ступенчатую форму с нижней частью (основанием) большего диаметра и верхней частью меньшего диаметра, коаксиальной и эпитаксиальной по отношению к нижней части, верхняя часть острия имеет торец (плоскую вершину), перпендикулярный оси острия, торец покрыт пленкой диэлектрика, причем в верхней части острия имеется полупроводниковый р-п переход, параллельный торцу, на расстоянии от торца, не превышающем диаметра острия.

2. Микрозонд по п. 1, отличающийся тем, что диаметр нижней части острия превосходит диаметр его верхней части не менее чем на порядок величины.

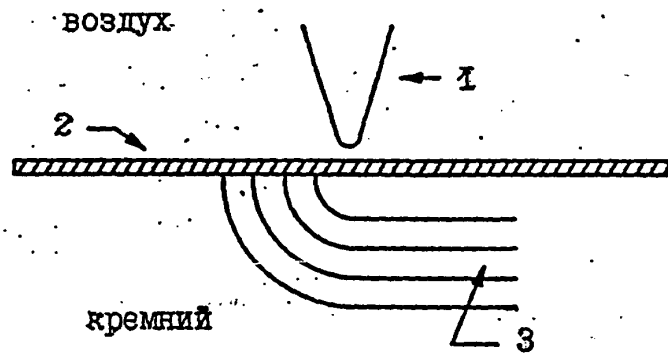
3. Микрозонд по п. 1, отличающийся тем, что диаметр нижней части острия составляет от 5 до 10 микрометров.

4. Микрозонд по п. 1, отличающийся тем, что верхняя часть острия имеет цилиндрическую, призматическую, или коническую форму диаметром менее 100 нанометров и высотой менее 2 микрометров.

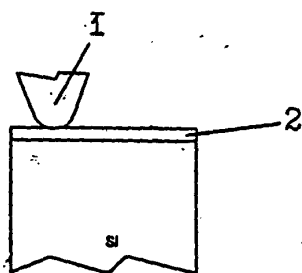
5. Микрозонд по п. 1, отличающийся тем, что в качестве диэлектрика используют двуокись кремния  $\text{SiO}_2$ , пятиокись тантала  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , двуокись титана  $\text{TiO}_2$ , титанат стронция  $\text{SrTiO}_3$ , или титанат бария  $\text{BaTiO}_3$ .

6. Способ изготовления микрозонда для емкостных измерений, включающий создание электропроводящего острия, отличающийся тем, что острие создают из нитевидного кристалла кремния путем выращивания по механизму пар-жидкость-кристалл, причем сначала выращивают основание острия, затем коаксиально и эпитаксиально к нему верхнюю часть острия с глобулой на вершине, состоящей из кремния и металла-растворителя, обеспечивающего рост нитевидного кристалла по указанному механизму, в верхней части острия создают полупроводниковый р-п переход путем легирования из газовой фазы, удаляют химическим путем глобулу, и на образовавшийся торец наносят диэлектрическую пленку.



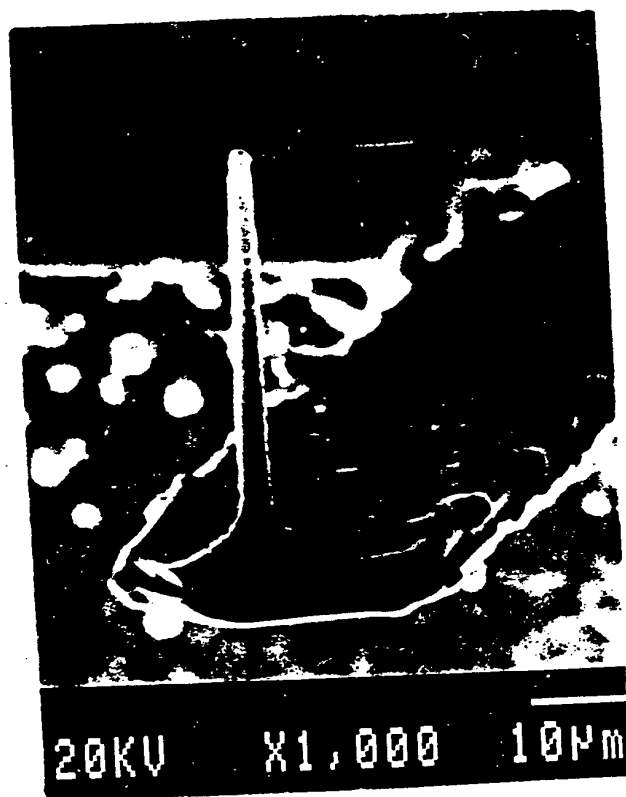


(a)

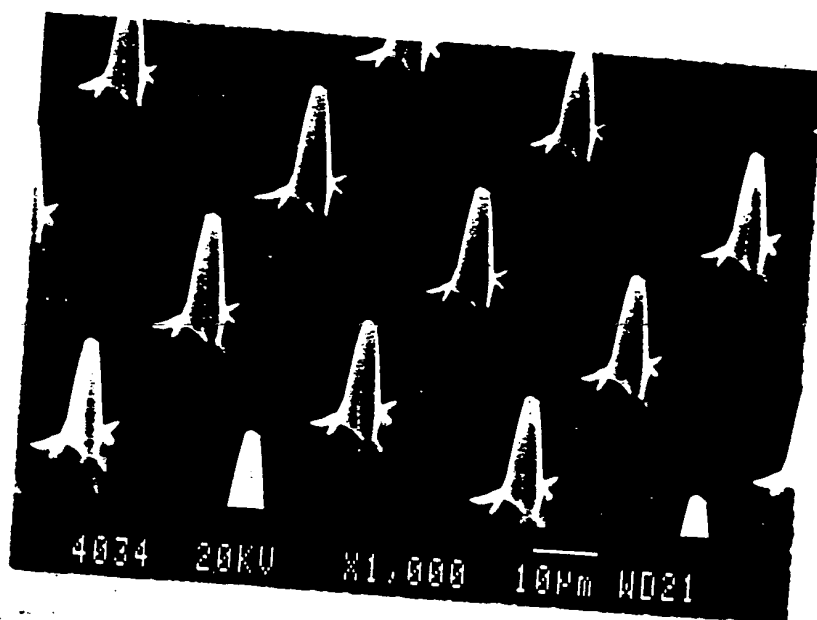


(б)

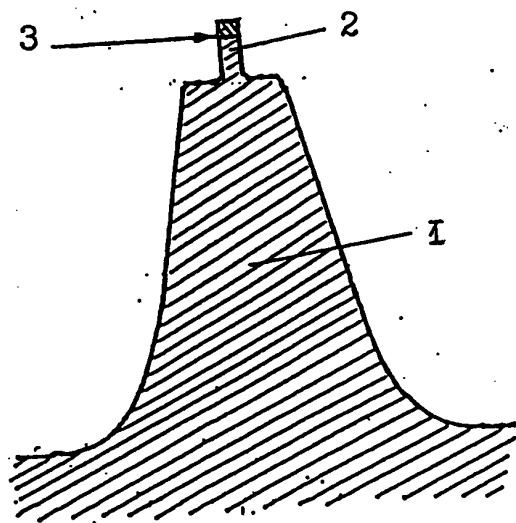
Фиг. 1.



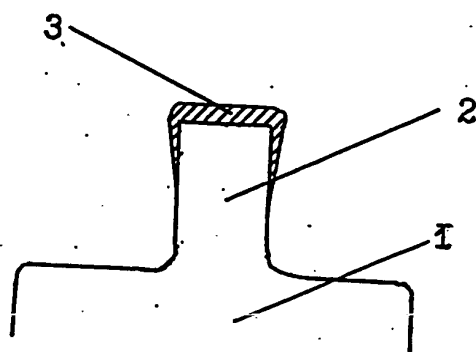
Фиг. 2.



Фиг. 3.



Фиг. 4..



Фиг. 5.

## РЕФЕРАТ

Предлагается микрозонд для ёмкостных измерений, представляющий собой кремниевое острие ступенчатой формы, причем вершина острия имеет торец, перпендикулярный оси острия. Торце покрыт диэлектриком с высоким значением диэлектрической постоянной. В верхней части острия имеется полупроводниковый р-п переход, параллельный торцу острия, на расстоянии от него, не превышающем диаметра острия. Предлагается и способ изготовления такого микрозонда, который состоит в выращивании нитевидного кристалла по механизму пар-жидкость-кристалл, создании торца и покрытии этого торца диэлектрической пленкой.